

И.Ф. Дадашов., к.т.н., докторант, НУГЗУ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ ГРАНУЛИРОВАННОГО ПЕНОСТЕКЛА НА ГОРЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

(представлено д.т.н. Киреевым А.А.)

Экспериментально определено влияние толщины слоя пеностекла на массовую скорость выгорания бензина, уайт-спирита, керосина и денатурата. Установлено, что массовая скорость выгорания горючих жидкостей быстро уменьшается после достижения толщины слоя 7 см. Сделан вывод, что нанесение слоя легкого носителя на горючую жидкость позволяет снизить скорость конвективных потоков над её поверхностью до уровня позволяющего успешно подавать компоненты гелеобразующей системы в распыленном виде.

Ключевые слова: массовая скорость выгорания, бензин, уайт-спирит, керосин, денатурат, пожары в резервуарах, гелеобразующие огнетушащие системы, гранулированное пеностекло.

Постановка проблемы. Тушение горючих жидкостей является одной из сложнейших проблем пожаротушения. Особенно большие трудности вызывает тушение горючих жидкостей, хранящихся в резервуарах большой ёмкости. Такие пожары характеризуются большой длительностью, высоким материальным ущербом и нередко человеческими жертвами [1]. Мировые статистические данные указывают на широкую распространённость такого вида пожаров [2, 3].

В литературных источниках можно найти информацию про возможность тушения горючих жидкостей (ГЖ) и легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) практически всеми существующими в настоящее время средствами пожаротушения: воздушно-механическими пенами, распыленной водой и водными растворами, эмульсиями, порошковыми средствами, аэрозолями, откачиванием топлива из резервуара, твёрдой углекислотой, газами-разбавителями, газообразными ингибиторами. По мнению авторов работ [1, 4, 5], большинство предложенных методов тушения ГЖ и ЛВЖ (кроме тушения пенами) представляют скорее теоретический интерес, из-за сложности обеспечения условий погасания одновременно над всей поверхностью жидкости.

Наибольшую эффективность при тушении ГЖ и ЛВЖ обеспечивают средства тушения, в которых реализуется изолирующий механизм прекращения горения. Таким средством тушения являются воздушно-механические пены. Огнетушащие пены позволяют надёжно создать условия погасания над всей поверхностью жидкости на время достаточное для охлаждения нагретых конструкций до температуры ниже температуры самовоспламенения. А именно выполнение этих двух условий является необходимым для успешного тушения пожаров класса «В». В Украине и в большинстве государств постсоветского пространства в нормативных до-

кументах пены отмечаются как основное средство тушения ГЖ и ЛВЖ [6]. Только в нескольких ситуациях нормативными документами допускается применение огнетушащих порошков и распыленной воды.

Пены используются для тушения горючих жидкостей более столетия. Для получения огнетушащих пен используются водные растворы одним из основных компонентов, которых являются поверхностно-активные вещества (ПАВ), получивших название пенообразователей (ПО). Первоначально использовались ПО на основе ПАВ растительного происхождения, постепенно в обращение были введены ПАВ на основе веществ животного происхождения (белковые ПАВ). Впоследствии широкое распространение получили ПО на основе синтетических ПАВ. Однако все ранее разработанные пенообразователи часто не обеспечивали положительного результата тушения даже при полном выполнении нормативных требований [1].

До недавнего времени при тушении пожаров в резервуарах происходил переход на использование пленкообразующих пенообразователей. Последний тип ПО содержит перфторированные соединения. Внедрение в практику пленкообразующих пенообразователей существенно повысило эффективность пожаротушения резервуаров. Такие ПО в подавляющем большинстве случаев позволяют обеспечить положительный результат тушения пожаров с участием горючих жидкостей. Преимущества пленкообразующих ПО перед ПО общего назначения является общепризнанным [1, 6].

Однако для всех видов ПО в большей или меньшей мере характерно наличие общих недостатков: малая устойчивость пен при действии интенсивных тепловых потоков от пламени горячей жидкости, быстрое их разрушение при контакте с полярными жидкостями, трудности с подачей на большие расстояния, высокая стоимость ряда ПО, наличие в их составе экологически опасных веществ, загрязнение ими горючих жидкостей. Для пленкообразующих ПО также отмечается как существенный недостаток высокая стоимость, как систем подслоной подачи пены, так и самих ПО [7].

Однако критическими параметрами пленкообразующих ПО оказались их экологические характеристики [8]. Они оказались в 150 раз токсичнее «биологически жесткого» пенообразователя ПО-6К и в 2500 раз стабильнее к биодegradации в окружающей среде. Подтверждением факта экологической опасности таких ПО стало решение Агентства по охране окружающей среды США объявить программу добровольного прекращения использования таких веществ и отказ фирмы «3М» от их выпуска [9].

Разработки новых экологически безопасных ПО пока не привели к положительным результатам [10, 11]. На основании вышесказанного можно заключить, что решение проблемы низкой эффективности существующих методов тушения горючих жидкостей в резервуарах требует разработки новых более эффективных огнетушащих средств.

Анализ последних исследований и публикаций. Для устранения ряда из отмеченных недостатков воздушно-механических пен было предложено использовать гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные составы (ГОС) [12]. ГОС представляют собой бинарную систему, жидкие компо-

ненты которой раздельно-одновременно подаются в очаг горения. Компоненты системы подобраны таким образом, чтобы при их смешении образовывался нетекучий гелеобразный слой. Для обеспечения плавучести такого слоя в ГЖ и ЛВЖ предложено использовать лёгкий негорючий неорганический носитель – гранулированное пеностекло [13, 14].

Технология тушения жидкостей, таким образом, состоит из двух этапов. Первый этап – равномерное нанесение на поверхность жидкости слоя лёгкого носителя – гранулированного пеностекла (ПС). Второй этап – нанесение на слой плавающего пеностекла компонентов ГОС. В результате образовавшийся бинарный слой лёгкий носитель – гель обеспечивает изоляцию пространства над слоем геля от проникновения паров ГЖ и ЛВЖ.

В работе [15] были экспериментально установлены высокие изолирующие свойства гелеобразного слоя. При толщине сплошного слоя геля равной (1,3–1,4) мм коэффициент замедления испарения паров углеводородных топлив составлял величину ~ 30 . Однако нанесение слоя геля требует подачу компонентов ГОС в распыленном виде. Этому процессу препятствуют интенсивные восходящие конвективные потоки от поверхности горящей жидкости. Снизить скорость конвективных потоков позволяет предварительное нанесение слоя лёгкого носителя. Также было проведено определение скорости испарения жидкостей через слой лёгкого носителя при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Так было установлено, что слой гранулированного пеностекла замедляет скорость испарения бензина при толщине слоя 4,5 см в 1,4 раза с возрастанием слоя до 13,5 см в 5,6 раза. Влияние толщины слоя ПС на скорость испарения ГЖ при условии его горения ранее проведено не было. Так как лимитирующей стадией горения жидкостей является скорость её испарения, то интенсивность горения будет зависеть от толщины слоя лёгкого носителя.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является экспериментальное определение массовой скорости выгорания ГЖ с нанесённым на его поверхность слоя гранулированного ПС. В качестве горючих жидкостей были выбраны следующие технические жидкости: бензин, уайт-спирит, керосин и денатурат.

Количественно массовая скорость выгорания жидкости (V) ($\frac{\text{г}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$) определяется из соотношения

$$V = \frac{\Delta m}{\tau \cdot S}, \quad (1)$$

где Δm – изменение массы жидкости в результате её горения, г; τ – время горения, с; S – площадь поверхности жидкости, м^2 .

Предварительно была изучена скорость выгорания ГЖ со свободных поверхностей. Для этого 100 мл ГЖ, наливалась в металлическую ёмкость цилиндрической формы с внутренним диаметром 11,2 см ($S=98,5 \text{ см}^2$). При этом толщина слоя бензина составляла ~ 1 см. Далее заливался такой объём воды, чтобы поверхность бензина была ниже бортов цилиндра на 1 см. После этого бензин поджигался и гравиметриче-

ским методом определялась его потеря массы во время процесса горения. Взвешивание осуществлялось с помощью электронных весов непрерывного взвешивания ВТА-60-3-7. Точность взвешивания составляла 0,5 г. Измерения проводились при температуре окружающего воздуха $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Соответствующие значения убыли массы бензина (Δm), начиная со второй минуты после начала горения представлены на рис. 1. Для остальных ГЖ зависимости имели аналогичный вид. Измерение толщины слоя ПС, находящегося выше уровня жидкости при проведении лабораторных исследований затруднительно. Поэтому все данные приводятся для общей толщины слоя гранулированного пеностекла.

В дальнейшем была исследована скорость выгорания ГЖ с нанесённым слоем ПС. Эксперимент проводился также как и без нанесённого слоя за исключением того, что объём воды подбирался таким, чтобы после нанесения на поверхность жидкости ПС, высота свободного борта составляла 1 см. При этом слой лёгкого носителя равномерно засыпался на горящую поверхность после 1 минуты свободного горения жидкости. Значения убыли массы фиксировались после двух минут от начала горения. Всего была определена скорость горения ГЖ в интервале толщин слоя ПС: 2 – 10 см. Соответствующие графические зависимости для трех толщин слоя ПС нанесенного на бензин представлены на рис. 1.

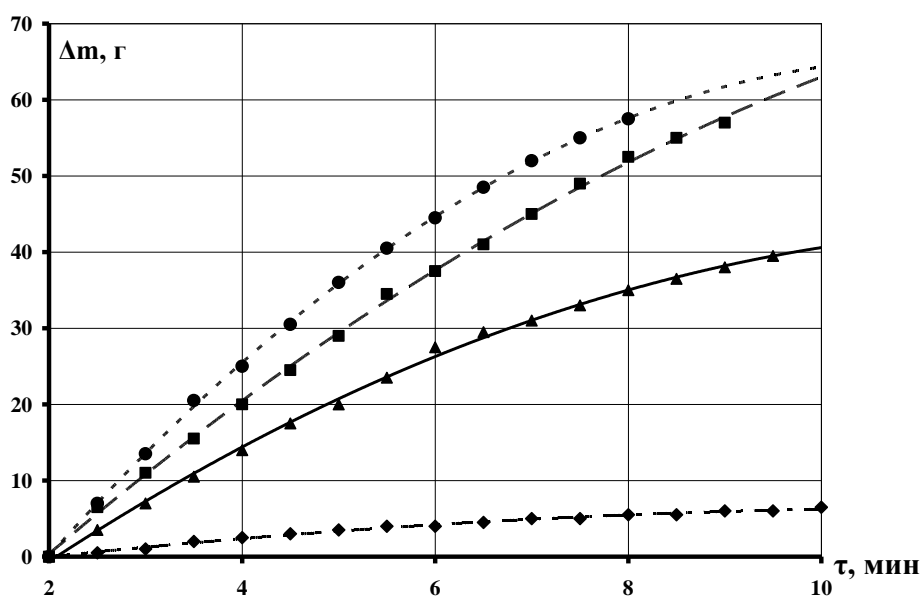


Рис. 1. Изменение массы бензина (Δm) в процессе горения со временем (τ) при разных толщинах слоя гранулированного пеностекла (● – 0 см, ■ – 4 см, ▲ – 6 см, ◆ – 8 см)

Анализ приведенных результатов для всех исследованных ГЖ позволяет заключить, что в интервале времени от 2 до 6 минут рассматриваемые зависимости близки к линейным. Это означает, что массовая скорость выгорания жидкостей за этот промежуток времени постоянна.

На основании полученных результатов по уравнению (1) были рассчитаны массовые скорости выгорания ГЖ для разных толщин слоя ПС. Соответствующие зависимости массовой скорости выгорания ГЖ от толщины слоя ПС представлена на рис. 2.

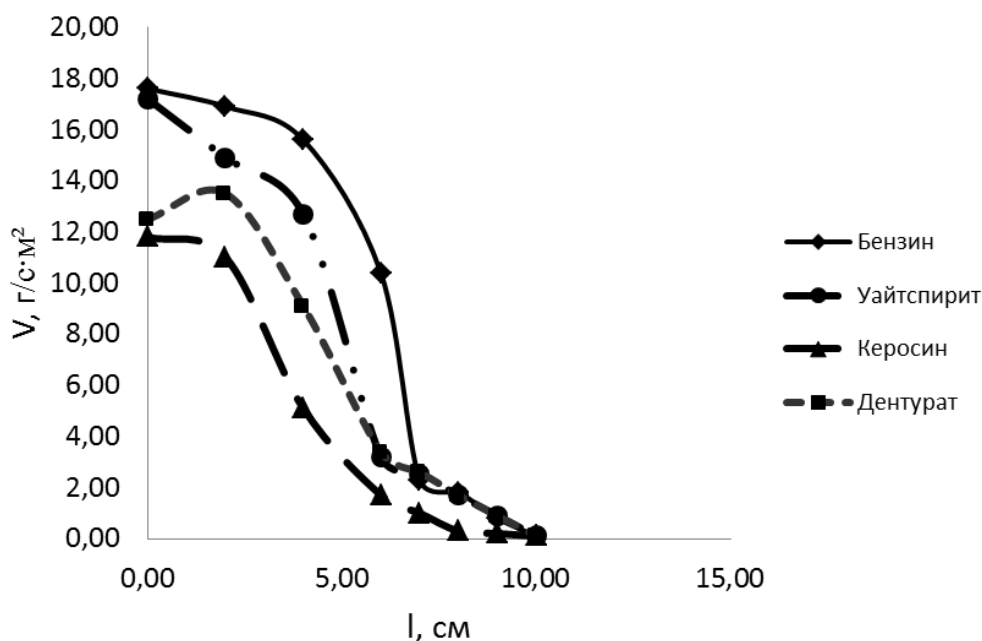


Рис. 2. Зависимость массовой скорости выгорания ГЖ (v) от толщины слоя гранулированного ПС (l)

Анализ приведенных графических зависимостей позволяет заключить:

- при увеличении толщины слоя ПС массовая скорость выгорания ГЖ убывает;
- в интервале 0-4 см убывание массовой скорости выгорания незначительно;
- в интервале 4-7 см происходит быстрое уменьшение массовой скорости выгорания ГЖ;
- в интервале толщин слоя ПС 7-10 см массовая скорость выгорания ГЖ в десятки раз меньше, чем их массовая скорость выгорания со свободной поверхности.

Визуальные наблюдения процесса горения ГЖ с нанесенным слоем ПС также показывают, что при толщине слоя ПС более 7 см высота пламени и скорость конвективных потоков над поверхностью слоя ПС незначительны. Причем, при толщинах слоя (9-10) см наблюдается лишь локальное горение на отдельных участках с периодическим проскакиванием пламени вглубь слоя ПС. В таком режиме горения, оказалось легко добиться полного потухания пламени. В ходе дополнительных опытов было установлено, что потухание легко достигается при подаче распыленной воды с малым расходом в течение 1 с. Такой же результат обеспечивается при кратковременной подаче компонентов ГОС и воздействия воздушного потока (срыв пламени). Одновременно установлено, что после прекращения горения такими способами, оно легко восстанавливается при внесении источника зажигания.

Сопоставление влияния слоя ПС на испарение ГЖ в условиях отсутствия горения и в условиях горения позволяет сделать заключение, что в условиях горения слой пеностекла замедляет испарение многократно больше, чем в отсутствии горения. Так слой ПС в бензине толщиной 10 см замедление испарения бензина в условиях горения в шесть раз больше,

чем в условиях отсутствия горения. Этот факт можно объяснить тем, что скорость испарения под действием слоя ПС уменьшается только за счёт уменьшения скорости диффузии паров ГЖ через пористый материал. На скорость горения ГЖ помимо уменьшения скорости диффузии оказывает влияние охлаждение слоя горячей жидкости гранулированным ПС и экранирование теплового потока от пламени к её поверхности.

Выводы. Предложенный для обеспечения плавучести слоя геля в горючих жидкостях лёгкий негорючий носитель – гранулированное пеностекло при толщине слоя 7-10 см позволяет уменьшить массовую скорость выгорания ГЖ в десятки раз. Это позволяет снизить скорость конвективных потоков над поверхностью горячей жидкости, до уровня позволяющего успешно подавать компоненты гелеобразующей системы в распыленном виде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боровиков В. Гасіння пожеж у резервуарах для зберігання нафти і нафтопродуктів / В. Боровиков // Пожежна та техногенна безпека. – 2015.– № 11 (26). – С. 28-29.

2. Campbell R. Fires at Outside Storage Tanks / R. Campbell // Report National fire protection association: August 2014. Электронный ресурс: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports>.

3. Hylton J. G. U.S. Fire Department Profile / J. G. Hylton // Report: NFPA's. April 2017.– p. 39. Электронный ресурс: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics/Fire-service/osfdprofile.pdf>.

4. General Foam Information. U.S Chemguard association. August 2017. – 6 p. Электронный ресурс: <http://www.chemguard.com/about-us/documents-library/foam-info/general.htm>.

5. Fire Fighting Foam Principles and Ethanol-Blended Fuel. 2016. – 20 p. Электронный ресурс: http://www.ncdoi.com/Module5_ParticipantManuals.pdf.

6. Статут дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби. Київ, МНС України. – 2012. – 42 с.

7. Волков Р.С. Особенности тушения жидких топлив и органических жидкостей распыленной водой / Р.С.Волков, И.С. Войтков, О.И. Высокоморная // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – т.25.– №4. – С.68 – 75.

8. Бочаров В.В. Использование перфторированных ПАВ в пенообразователях – «второе пришествие». Галогенорганика с наилучшим сценарием развития для обитателей земли / В.В. Бочаров // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т.22. – №10. – С. 75-82.

9. J. Seam. Fire fighting foams with perfluorechemicals. Environmental reviv. 2013. Электронный ресурс: https://www.google.com.ua/search?rlz=1C1BLWB_enUA771UA722.

10. Amankeldi F. Composite Foaming Agents on the Basis of High-Molecular Natural Surfactants / F. Amankeldi, Z. 11. Ospanova, // Colloids Interfaces. – 2018. – V. 2. – P. 2-8.

11. Patino, J.M. Implications of interfacial characteristics of food foaming agents in foam formulations. / J.M.Patino, C.C. Sбnchez, M.R. Nico // Adv. Colloid Interface Sci. –2008. – v. 140. – P. 95–113.

12. Пат. 2264242 Российская Федерация, МПК⁷ А 62 С 5/033. Способ тушения пожара и состав для его осуществления / Борисов П.Ф., Росоха В.Е., Абрамов Ю.А., Киреев А.А., Бабенко А.В.; заявитель и патентообладатель Академия пожарной безопасности Украины. – №2003237256/12; заявл. 23.12.2003; опубл. 20.11.10.2005, Бюл. №32. 4 с.

13. Popov M. Performance of Lightweight Concrete based on Granulated Foamglass / M. Popov, M. L. Zakrevskaya, V. Vaganov // Sci. Eng. – 2017. – v.96. –N1. – P. 1–7.

14. Limbachiya M. Performance of granulated foam glass concrete / M. Limbachiya, M.S. Meddah, M.S. Fotiadou, // Construction and Building Materials. – 2011. – v. 28 – P. 759–768.

15. Дадашов И.Ф. Экспериментальное исследование изолирующих свойств гелеобразных слоёв по отношению к парам органических токсичных жидкостей / И.Ф. Дадашов // Проблемы гражданского захисту. – 2017. – Вып. 25. – С. 22–27.

Получено редколлегией 14.03.2018

И.Ф. Дадашов

Експериментальне дослідження впливу товщини шару гранульованого піноскла на горіння органічних рідин

Експериментально визначений вплив товщини шару піноскла на масову швидкість вигорання бензину, уайт-спіриту, гасу і денатурату. Встановлено, що масова швидкість вигорання горючих рідин швидко зменшується після досягнення товщини шару 7 см Зроблений висновок, що нанесення шару легкого носія на горючу рідину дозволяє понизити швидкість конвективних потоків над її поверхнею до рівня того, що дозволяє успішно подавати компоненти гелеутворюючої системи в розпошеному виді.

Ключові слова: масова швидкість вигорання, бензин, уайт-спірит, гас, денатурат, пожежі в резервуарах, гелеутворюючі вогнегасні системи, гранульоване піноскло.

I. Dadashov

Experimental research the influence of thickness of the layer of a granulated film glow on the burning of organic liquids

Experimentally certain influence of thickness of layer of foamglass on mass speed of burning of petrol, white-spirit, kerosene and methylated spirit. It is set that mass speed of burning of combustible liquids quickly diminishes after the achievement of thickness of layer 7 sm. Drawn conclusion, that causing of layer of easy carrier on a combustible liquid allows to bring speed of convectional streams above her surface to the level of allowing successfully to give the components of the gel-forming system in the nebulized kind.

Keywords: mass burning rate, petrol, white-spirit, kerosene, methylated spirit, fires in reservoirs, gel-forming fire extinguishing systems, granular foamglass.